

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Metodika stanovení hlučnosti energetických zařízení

The Methodology to Determine the Noise Level of Energy
Machines

Student:

Paweł Wacławek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Paweł Wacławek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení
Téma: **Metodika stanovení hlučnosti energetických strojů**
The Methodology to Determine the Noise Level of Energy Machines
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Rešerše v oblasti hluku a životního prostředí.
- 2) Základy měření hluku energetických zařízení a popis měřicí techniky.
- 3) Metodika měření hluku stanovená v souladu s platnými normami v dané oblasti.
- 4) Praktický příklad vyhodnocení úrovně hlučnosti kompresoru na základě výsledků diagnostického měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NOVÝ, R.: Hluk a chvění. Monografie. Vyd.2.,Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000, 389 s. ISBN: 80-01-02246-3.
- [2] RAJNIAK, I.: Tepelno-energetické a emisné merania. I. vydání, Bratislava: Ister Science, spol. s r.o., 1997, 481 s. ISBN 80-88683-20-3.
- [3] Technické zprávy z garančních zkoušek kompresorů. Katedra energetiky, VŠB-TU Ostrava.
- [4] ČSN EN ISO 11 202: Akustika – Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními – Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech s použitím přibližných korekcí na prostředí a souvisejících norem, Český normalizační institut, 2010, 44 s.
- [5] ČSN EN ISO 3746: Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Provozní metoda s měřicí obalovou plochou nad odrazivou rovinou, Český normalizační institut, 2011, 52 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017


doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřisečné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literatury.

V Ostravě: 15.5.2017


.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5.2017



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Paweł Waclawek

Adresa trvalého pobytu autora:

Školní 1234, Jablunkov 739 91

ANOTACE BAKALŔSKÉ PRÁCE

WACLAWEK, P. *Metodika stanovení hlučnosti energetických strojů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2017, 37 s. Vedoucí práce: Výtisk, T.

Bakalářská práce se zabývá metodikou stanovení hlučnosti energetických strojů. V úvodu popisuje, co je to zvuk a chvění, jak vznikají, veličiny potřebné k opisu a jejich vliv na životní prostředí. Dále v něm najdeme, co vše je třeba znát při měření akustických veličin. Důkladně vysvětluje používané normy v akustice. A v neposlední řadě se zabývá samotným měřením a metodikou určení emisního akustického tlaku. Na základě tohoto měření je vyhodnoceno, zda energetický stroj splňuje výrobcem garantované hlukové předpisy.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

WACLAWEK, P. *The Methodology to Determine the Noise Level of Energy Machines: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2017, 37 p. Thesis head: Výtisk, T.

The bachelor's thesis discusses the methodology to determine the noise level of energy machines. In the introduction, it describes what sounds and vibrations are, how they occur, how they can be quantified by measurement and what is their impact on the environment. It will discuss the basics of how acoustic quantities are measured and what measurement standards are used in acoustics. And last but not least, it deals with the measurement itself, its methodology and the ways how to determine the emission of sound pressure. Based on the measurement, it is assessed whether the power machine meets the manufacturer's guaranteed noise regulations.

Obsah

Seznam použitých veličin	8
Úvod.....	9
1. Základní pojmy a veličiny při měření hluku a chvění	10
1.1 Zvuk	10
1.2 Šíření zvuku	10
1.3 Základní akustické a decibelové veličiny	11
1.4 Vliv hluku na životní prostředí	12
1.5 Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací	12
2. Stanovení hlučnosti.....	14
2.1 Objektivizované měřicí postupy	14
2.2 Měření teploty a tlaku	15
2.2.1 Měření teploty.....	15
2.2.1.1 Odporové teploměry.....	16
2.2.2 Měření tlaku.....	17
2.2.2.1 Měření atmosférického tlaku.....	18
2.3 Měření decibelových veličin	20
2.4 Měřicí mikrofón	21
3. Normy pro zápis a měření hluku.....	22
3.1 Norma ČSN ISO 1996-1 pro popis, měření a hodnocení hluku prostředí.....	22
3.1.1 Zaznamenávané informace při měření hluku.....	22
3.1.2 Korekce nastavení hodnotící hladiny	23
3.2 Norma ČSN EN ISO 11202 Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními.....	24
3.2.1 Vhodná místa pro měření podle Normy ČSN ISO EN 11202	25
3.3 Norma ČSN EN ISO 3746 Určování hladin akustického výkonu	26
3.3.1 Zkušební prostředí a jeho kritéria	26
3.3.2 Referenční obalová plocha a měřicí plocha	26
4. Metodika stanovení hlukové zátěže	27

4.1. Stanovení hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku	27
4.2 Zkušební prostředí.....	27
4.2.1 Kritérium pro hluk v pozadí (K_{1A}).....	27
4.2.2 Kritérium způsobilosti zkušebního prostředí (K_{2A})	28
4.2.3 Korekce na lokální prostředí (K_{3A}).....	28
5. Měření hluku napájecího čerpadla v provozních podmínkách	29
5.1 Teplota, tlak, vlhkost	29
5.2 Hladina akustického tlaku A	29
5.3 Výsledky měření	31
5.4 Měřicí místa	31
5.5 Výsledky měření napájecího čerpadla	32
5.6 Dílčí výsledky měření v referenčních bodech.....	32
5.6.1 Vzorový výpočet hladiny emisního akustického tlaku	33
Závěr	36
Seznam použitých zdrojů.....	37

Seznam použitých veličin

a	– Zrychlení mechanického kmitání [m^2/s]
I	– Akustická intenzita [W/m^2]
I_0	– Prahová akustická intenzita $I_0 = 10^{-12}$ [W/m^2]
K_{1A}	– Kritérium pro hluk v pozadí [dB]
K_{2A}	– Kritérium způsobivosti zkušebního prostředí [dB]
K_{3A}	– Korekce na lokální prostředí [dB]
L_{pA}	– Hodnota hladina akustického tlaku A [dB]
L_I	– Hladina intenzity zvuku [dB]
L_w	– Hladina akustického výkonu [dB]
P	– Akustický výkon [W]
p	– Akustický tlak [Pa]
p_0	– Amplituda akustického tlaku [Pa]
p_m	– Měrný tlak [Pa]
p_{ef}	– Efektivní akustický tlak [Pa]
s	– Okamžitá výchylka bodu z rovnovážné polohy [m]
s_0	– Amplituda výchylky [m]
S	– Plocha [m^2]
v_a	– Akustická rychlost [m/s]
v_k	– Rychlost kmitání [m/s]
x	– Odlehlost [m]
y	– Okamžitá výchylka [m]
τ	– Čas [s^{-1}]
ω	– Úhlová frekvence, úhlový kmitočet [s^{-1}]

Úvod

V dnešní době industrializace a velmi rychlého technického pokroku se stává hluk nedílnou součástí života nás všech. Stroje jsou konstruovány s vyššími výkony, což se nese ruku v ruce se zvyšováním hluku.

Nejde jen o samotný hluk stroje, ale i o chvění, tedy vibrace, jež mohou způsobit poškození stroje. Příčinou poškození je únavové namáhání materiálu, což v důsledku může znamenat vyšší ekonomické zatížení pro provozovatele stroje.

Hluk zatěžuje i životní prostředí, je tedy snaha rovněž z ekologického hlediska o snižování hlučnosti nově vyráběných strojů. I z tohoto důvodu jsou vyvíjeny stále novější technologie, které mají za úkol snížení vibrací, a především hluku u nově vyráběných strojů.

Cílem této práce je určení a posouzení hlučnosti vybraného energetického stroje. Úvodní část obsahuje rešerši v oblasti hluku a životního prostředí. V další části jsou popsány základy měření hluku energetických zařízení, je zde rovněž popsána použitá měřicí technika. Dílčím cílem této práce je seznámení se s normami a literaturou, která má souvislost s tímto tématem. V práci proto dále následuje metodika měření hluku stanovená v souladu s platnými normami v dané oblasti. To vše je využito v praktickém příkladu vyhodnocení úrovně hlučnosti napájecího čerpadla na základě diagnostického měření.

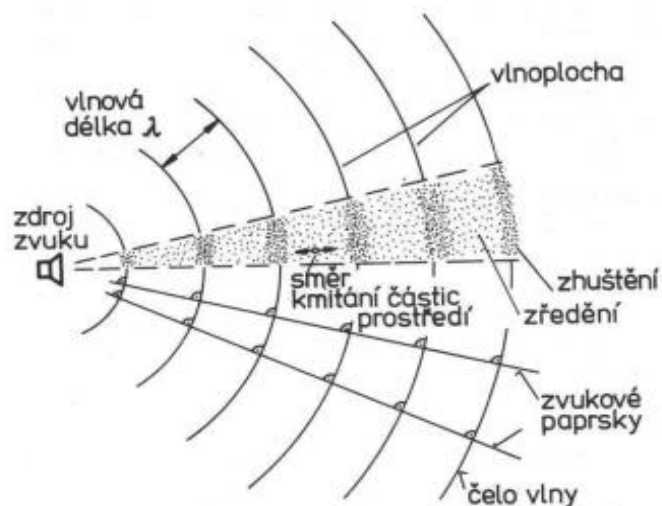
1. Základní pojmy a veličiny při měření hluku a chvění

1.1 Zvuk

Jedná se o mechanické kmitání v látkovém prostředí ve frekvenčním rozsahu 20 – 20 000 kmitů za sekundu. Akustická vlna se šíří ve vzduchu rychlostí cca 340 m/s. Její rychlost ve vodě je podstatně vyšší cca 1440 m/s. Frekvenční rozsah zvuku, kterým se zabývá technická akustika odpovídá frekvenčnímu rozsahu lidského ucha. Celková akustika se nezabývá jen slyšitelným pásmem (20 – 20 000 Hz), ale také i infrazvukem (pod 20 Hz) a ultrazvukem (nad 20 000 Hz). [1]

1.2 Šíření zvuku

Šíření zvuku, jinak také akustické vlnění, se může šířit v plynech, kapalinách i pevných látkách. V stejnorodém izotropním prostředí se zvuk šíří přímočaře. Vlnění dělíme podle kmitání částic prostředí, a to na podélné a kolmé vlnění. U podélného vlnění je směr kmitu dán směrem šíření vlnění, toto vlnění nastává pouze v plynech a kapalinách, neboť tyto látky jsou pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti. U příčného vlnění se musí udávat též rovina, ve které dochází k příčným kmitům. Jsou-li všechny kmity v jedné rovině, pak toto vlnění nazýváme: lineárně polarizované. Příčné vlnění se vyskytuje u pevných materiálu, kde se vyskytuje zároveň i vlnění podélné. Kombinace těchto dvou vlnění se vyskytuje u elastických materiálu, protože vykazují pružnost nejenom v tahu a tlaku, ale i smyku. Kombinací těchto namáhání vzniká i kmitání ohybové. [1] [2]



Obrázek 1: Šíření zvukové vlny [2]

1.3 Základní akustické a decibelové veličiny

Akustická rychlost v [m/s] je rychlost jakou kmitají jednotlivé částičky prostředí, kterým se šíří akustická vlna. Výraz pro její výpočet se získá pomocí parciální derivace akustické výchylky u a času τ : [1]

$$v = \frac{\partial u}{\partial \tau} = \omega u_0 \cos \left[\omega \left(\tau \pm \frac{x}{c} \right) \right] \quad (1)$$

Akustický tlak p [Pa] je skalární veličina určující rozdíl mezi okamžitým a statickým tlakem. Pro harmonický signál je dán vztahem: [1]

$$p = p_0 \cos \left[\omega \left(\tau \pm \frac{x}{c} \right) \right] \quad (2)$$

Hladina akustického tlaku L_p [dB] je měřítkem zvukové energie od zdroje hluku. Referenční (prahová) hodnota je $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$. Vyjádříme jako: [1]

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (3)$$

Akustický výkon P [W] je výkon přenášený akustickým vlněním. Je to energie v podobě zvukových vln vyzářena ze zdroje, nebo dopadající či procházející plochou za jednotku času. Je dán vztahem: [2]

$$P = Fv = pvS \quad (4)$$

Hladina akustického výkonu L_w [dB] je nezávislá na podmínkách, v kterých se určuje a je nezbytnou veličinou pro posuzování vlivu hluku na lidské zdraví, ekonomiku společnosti a její životní úroveň. Referenční hodnota je $P_0=10^{-12}$ W. Vyjádříme ji jako: [1]

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (5)$$

Akustická intenzita I [W/m²] je střední hodnotou měrného akustického výkonu. Zjišťuje směr toku akustického vlnění a určuje směr a množství akustické energie. Je dána vztahem: [1]

$$I = \frac{p_0^2}{2\rho c} \quad (6)$$

Hladina intenzity zvuku L_I [dB] je definována vztahem: [1]

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (7)$$

1.4 Vliv hluku na životní prostředí

Vliv hluku na lidský organizmus můžeme rozdělit do tří skupin, a to na orgánové účinky, ty se projevují hlavně poruchami činnosti sluchového ústrojí. Dále pak rušení činnosti – to má většinou vliv na spánek, řečové komunikace a čtení. Poslední je vliv na subjektivní pocit – jedná se obtěžování hlukem jako takové. Nepříznivé účinky na lidský organizmus se většinou projevují snížením kompenzační kapacity vůči stresu nebo zvýšením vnímavosti k jiným nepříznivým vlivům prostředí. [10]

1.5 Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Hygienické předpisy omezující hluk a vibrace se za posledních dvacet let mnohokrát měnily – od roku 2006 vešlo v platnost Nařízení vlády č. 148/2006 sb., které předepisuje hygienické limity pro hluk a vibrace. [1]

Hygienické limity hluku a vibrací pro místo určené nebo obvyklé pro výkon činnosti zaměstnanců v průmyslu:

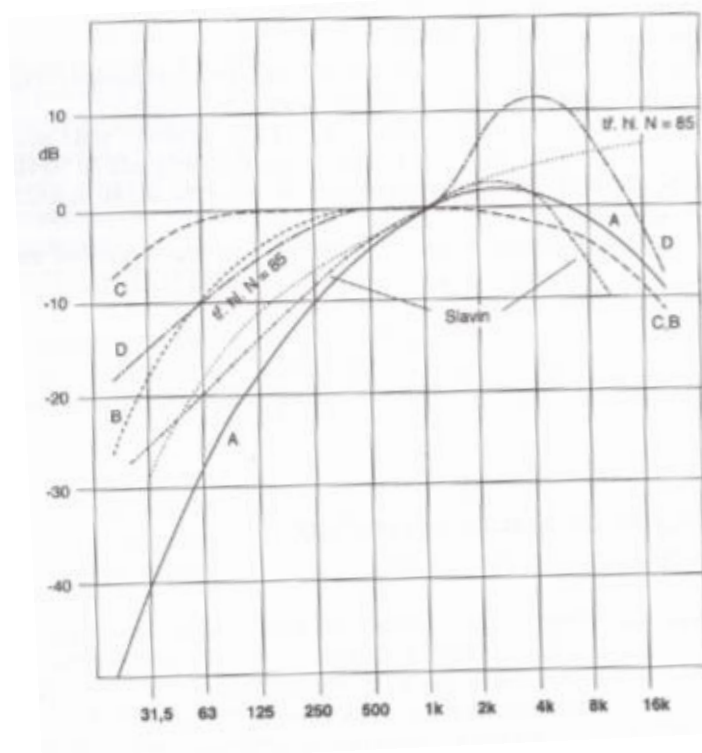
- Pro 8 hodinovou pracovní dobu ustáleného a proměnného hluku je z hygienického hlediska limit vyjádřen ekvivalentní hladinou akustického tlaku A ($L_{Aeq,8h}=85$ dB)

- Pro pracoviště, na nichž je vykonávána duševní práce náročná na pozornost je limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A ($L_{Aeq,8h}=50$ dB)
- Pro pracoviště, na nichž je vykonávána duševní práce, ale rutinní povahy (např. práce obsluhy na velínu) je limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A ($L_{Aeq,T}=60$ dB). [1]

2. Stanovení hlučnosti

2.1 Objektivizované měřicí postupy

U objektivních měření se zjišťena změna fyzikální veličiny, tzn. změna hladiny akustického tlaku, nebo intenzity neshoduje se subjektivním vnímáním změn. Nesouhlasy měření řešíme jak při samotném měření, ale také za pomoci různých převodů a transformací při vyhodnocování výsledků. Objektivní měření subjektivního vjemu nebylo do dnešního dne nalezeno, a proto hovoříme o objektivizovaných měřeních. Rozdíly mezi subjektivním vnímáním zvuku a měřenými fyzikálními hodnotami si vynucují speciální úpravy v měřicích zesilovačích. Pro přiblížení měřených veličin vlastnostem lidského ucha byly zařazeny do měřicích řetězců zvukoměru tzv.: váhové filtry. Tyto filtry zrcadlově připodobňují frekvenční charakteristiku měřicího řetězce k vybraným křivkám hladiny stejné hlasitosti. U váhových filtrů byly dohodnuty tři mezinárodní kmitočtové průběhy, které odpovídají přibližně křivkám stejné hlasitosti a to 40 dB, 70 dB a 100 dB filtry jsou značeny A, B a C. Filtry nám zajistí určitý pokles hodnoty měřených veličin, tam kde váhové křivky vykazují zvýšenou citlivost ucha. Tyto filtry ovšem pouze napomáhají k lepšímu souhlasu mezi naměřenými veličinami a vnímáním sluchového orgánu. [2]



Obrázek 2: Kmitočtové průběhy váhových filtrů a vybraných hodnoticích funkcí [2]

2.2 Měření teploty a tlaku

Ještě, než se dostaneme k měření hluku, je třeba znát fyzikální hodnoty prostředí, a to teplotu a tlak, jelikož vlastnosti měřicích systému pro měření zvuku jsou závislé na okolních podmínkách. Proto v této kapitole se budeme věnovat měření teploty a tlaku a posléze přejdeme na měření akustických veličin.

2.2.1 Měření teploty

Teplota je stavová veličina a je mírou velikosti neuspořádaného pohybu molekul. Přímé měření není možné. Určíme ji pomocí fyzikálních vlastností určité látky, která je určitým způsobem ve styku s tělesem nebo prostředím, v kterém je potřeba měřit teplotu. Měření teploty všeobecně rozdělujeme do tří skupin:

- Měření dotykovými teploměry
- Měření bezdotykovými teploměry
- Měření speciálními metodami

U měření teploty se také setkáváme s různými jednotkami a stupnicemi. Nejčastěji používáme *Celsiovu stupnici*, ta je určena teplotou topení ledu ve vodě při tlaku 101 325 Pa ($t=0\text{ }^{\circ}\text{C}$) a teplotou varu vody při stejném tlaku ($t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$). *Kelvinova stupnice* se odvíjí od takzvané absolutní nuly ($T=0\text{ K}=-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), což je nejnižší možná teplota v látce, u této teploty teoreticky přestává pohyb atomu v látce. [3]

Teploměry	Rozsah [°C]	Potřeba dalšího přístroje	Možnost dálkového měření
Dotykové			
Skleněné s naplní			
pentanu	-200–30	NE	NE
toluenu	-90–100	NE	NE
rtuti	-38–800	NE	NE
Tyčové dilatační	0–1000	NE	NE
Bimetalové dilatační	-50–600	NE	NE
Odporové platinové	-200–650	ANO	ANO
Odporové termistorové	-200–200	ANO	ANO
Termoelektrické	-200-1600	ANO	ANO
Bezdotykové			
Pyrometry jasové	600-3500	NE	NE
Pyrometry barevné	1000-3500	NE	NE
Pyrometry termoelektrické	50-3500	ANO	ANO
Pyrometry fotoelektrické	300-4000	ANO	ANO
Kovové teploměrná tělíska	100-1600	NE	NE
Seegerovy žároměrky	600-2000	NE	NE

Tabulka 1: Přehled Teploměru a metod měření teploty nejčastěji používaných v energetice [3]

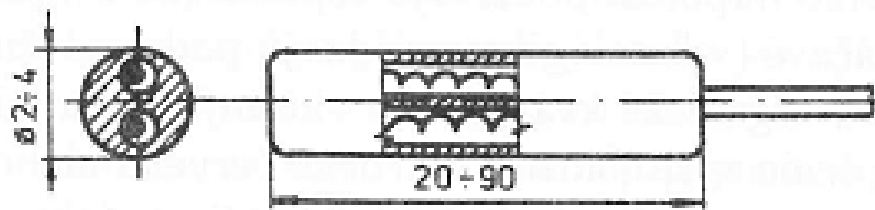
2.2.1.1 Odporové teploměry

Jak už z názvu vyplývá, tyto teploměry využívají změnu velikosti odporu kovů a polovodičů v závislosti na změně teploty. Rozdělujeme je podle závislosti na teplotě, a to na negistory (NTC) – u těchto teploměrů s rostoucí teplotou klesá velikost odporu, a na pozistory (PTC) – zde je to naopak, s rostoucí teplotou nám stoupá i velikost odporu. [3]

Hlavní vlastnosti sledované u odporových teploměrů:

- PŘESNOST: sledujeme, zdali se závislosti teploty na odporu shodují s normou ČSN

- **ODPOROVÝ POMĚR:** je to poměr odporů při teplotě 100 °C k odporu při teplotě 0 °C. [3]
- **STABILITA:** sledujeme kolísání hodnoty základního odporu po teplotních cyklech. [3]
- **MAXIMÁLNÍ MĚŘÍCÍ PROUD:** při průchodu proudu měřicím tělesem se nám zvedá teplota, a je třeba znát maximální proud, abychom nepřehřáli odpor. [3]
- **SCHOPNOST ODOLÁVAT OTŘESŮM:** je to odolnost teploměru proti vibracím. [3]



Obrázek 3: Odporové, keramické tělísko [3]

2.2.2 Měření tlaku

Měrný tlak je definovaný podílem $p = \frac{dF}{dS}$ (8), kde dF je elementární síla, působící kolmo na elementární plochu dS . Základní jednotkou tlaku je pascal (Pa). Jeden pascal je roven síle 1 N působícími kolmo a rovnoměrně na plochu 1 m². Při měření tlaku je vždy nutno uvést, zda se jedná o absolutní tlak, přetlak nebo podtlak vzhledem k atmosférickému tlaku. [3]

Tlakoměry	Vakua		Podtlaky		Přetlaky		Informativní maximální chyba [%]
	extrémní	technické	velké	malé	malé	velké	
	10^{-8}	10^{-4}	10^{-1}	10^3	Pb	10^7	
Bolometrické vakuometry	X	X	X				1 – 2
Kompresní vakuometry		X	X				cca 5
Kapalinové			X	X	X		0,1 – 1
Membránové deformační			X	X	X		1,5 – 4
Trubicové deformační			X	X	X	X	0,6 – 4
Vlnovcové deformační				X	X	X	1,5 – 4
Pístové				X	X	X	0,02 – 0,1
Odporové					X	X	cca 3

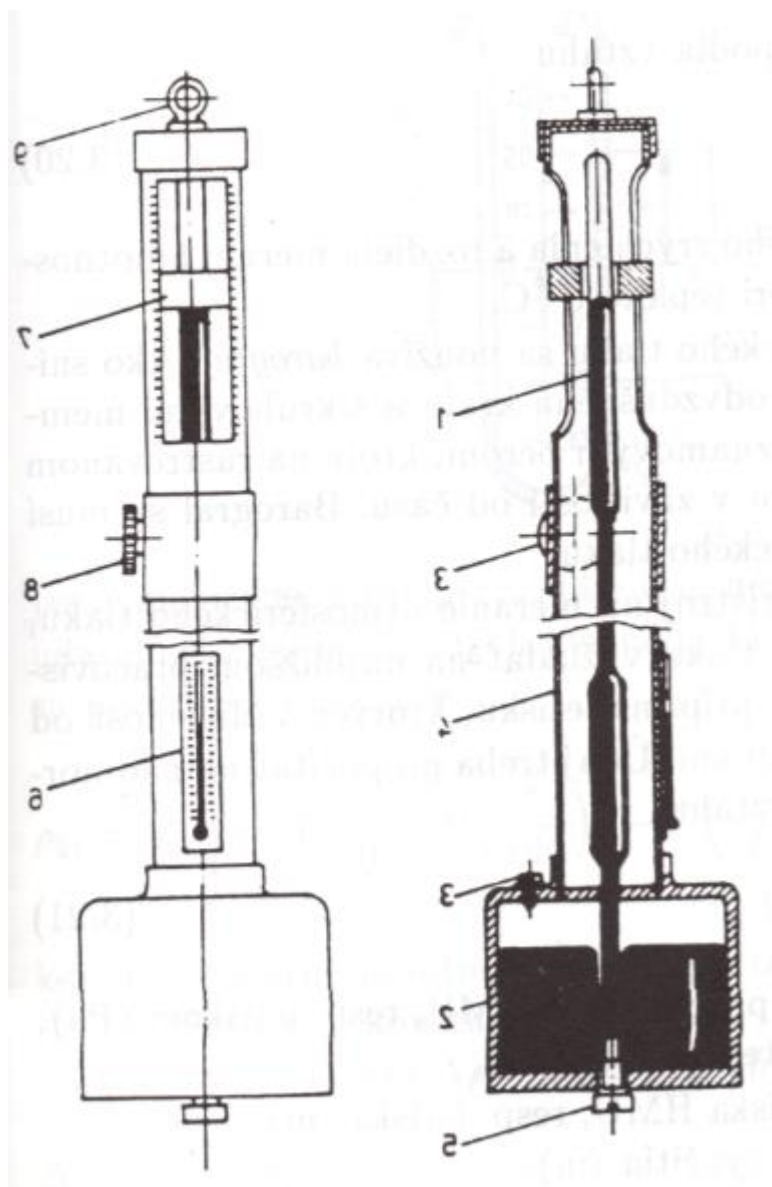
Tabulka 2: Přehled tlakoměru a odpovídajících rozsahu [3]

2.2.2.1 Měření atmosférického tlaku

Na měření atmosférického tlaku se nejčastěji používá kapalinový barometr s rtuťovou náplní. Trubice přístroje je z části naplněna rtutí a vakuována na tlak řádově 10^{-1} Pa. Stupnice se udává většinou v rozsahu 600–820 mm. Přístroj volně zavěsíme. Údaje na stupnici jsme schopni odčítat s přesností cca 0,1 mm. Vysoká přesnost odčítání hodnot je jen tehdy, když se dělá korekce údajů na teplotu okolí. [3]

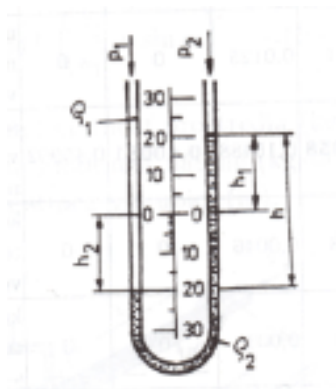
Nejčastěji používané kapalinové tlakoměry:

- Staniční Barometr



Obrázek 4: Staniční barometr [3]

U-trubice jsou dvě trubice dole spojeny tak, že připomínají písmeno „u“. Na kapalnou náplň tlakoměru jsou kladeny velké požadavky. Je potřeba, aby tato kapalina měla jasný meniskus a stálé vlastnosti, proto se používá rtuť, etylalkohol anebo destilovaná voda. [3]

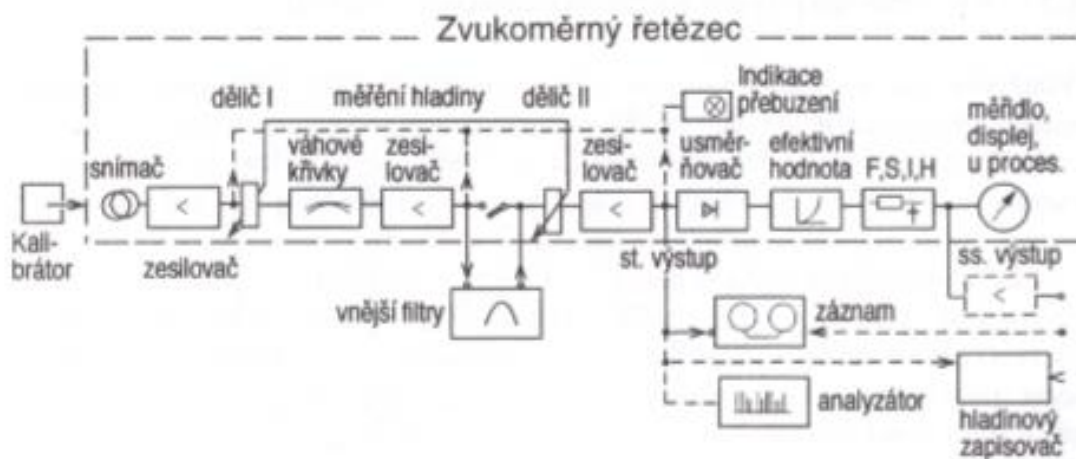


Obrázek 5: U-trubice [3]

2.3 Měření decibelových veličin

Základní měřicí přístroj v akustice je obyčejný metr na měření vzdálenosti, protože pouhý odhad vzdálenosti nám může naměřený výsledek naprosto znehodnotit. Ale to jen tak na okraj, protože pro snímání hluku a chvění jsou nejdůležitější snímače.

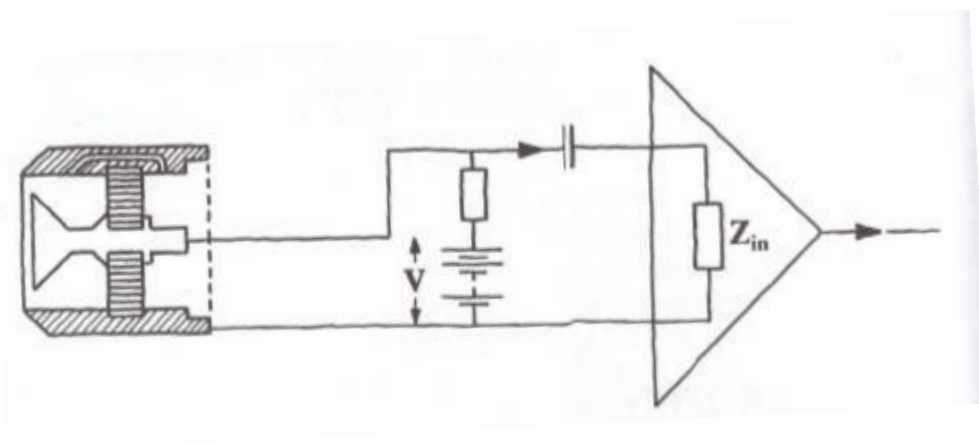
Díky těmto snímačům lze v měřicím řetězci výchyly upravovat, opravovat, popřípadě jsme schopni i stanovovat určité korekce měřeného signálu. Snímači jsou pro akustický tlak zvuku mikrofony, a pro akustické zrychlení chvění jsou to akcelerometry. Tyto dvě veličiny jsou nejčastěji měřenými hodnotami v akustice. [2]



Obrázek 6: Zvukoměrný řetězec [2]

2.4 Měřicí mikrofon

Mikrofon je akusticko-mechanicko-elektrický měnič, který snímané kmitání vnějšího prostředí převádí na elektrický signál. Jelikož existuje mnoho typů mikrofonu pro měření akustických veličin, používají se dnes zpravidla pouze mikrofony na bázi recipročních měničů (dynamický, elektrostatický, piezoelektrický atd.). A dá se říci, že pro seriózní a přesné měření v dnešní době používáme pouze měnič elektrostatický – kondenzátorový mikrofon. [2]



Obrázek 7: Princip kondenzátorového mikrofonu s vnějším polarizačním napětím [2]

3. Normy pro zápis a měření hluku

3.1 Norma ČSN ISO 1996-1 pro popis, měření a hodnocení hluku prostředí

Tato norma definuje základní veličiny užívané k určení hluku v komunálním prostředí a popisuje její základní hodnocení. Stanovuje metody hodnocení hluku a podává návod na předcházení, respektive řešení negativních reakcí společnosti na dlouhodobé účinky různorodých typu hluku v prostředí. Tato metoda predikce negativních vlivu hluku je omezována na oblasti, kde lidé bydlí a dlouhodobě užívají pozemky. [4]

Reakce na hluk se mohou u občanů lišit mezi zdroji hluku, u nichž se zjišťuje stejné hladiny zvuku. Proto tato norma popisuje korekce pro zvuky, které mají různé vlastnosti. Proto zavádíme pojem „hodnotící hladina“ tento pojem se používá u změřeného zvuku, u kterého byla provedena jedna nebo více korekcí. [4]

Hodnocení zvuku provádíme individuálně nebo kombinovaně, s úmyslem zohlednit požadavky příslušných institucí na jejich specifické vlastnosti, impulsivnost, tonalitu, a obsah nízkých frekvencí a různé vlastnosti hluku ze silniční dopravy, dalších dopravních hluků a průmyslového hluku. [4]

3.1.1 Zaznamenávané informace při měření hluku

Pokud to má význam, tak při měření hluku zaznamenáváme následující informace a veličiny:

- a.) referenční časový interval: tento časový interval se vztahuje k typickým lidským činnostem a změnám provozu zdroje zvuku. [4]
- b.) dlouhodobý časový interval; [4]
- c.) měření, přístrojovém vybavení, jejich kalibrace a rozmístění, a trvání intervalu měření; [4]
- d.) hodnotící hladiny a složky, včetně akustických hladin přispívajících k hodnotícím hladinám; [4]
- e.) popis zdrojů hluku nebo zdrojů zahrnutých v referenčním časovém intervalu; [4]
- f.) popis provozních podmínek zdroje nebo zdrojů zvuku; [4]
- g.) popis posuzované situace, včetně topografie, rozměru budov a druhů povrchů; [4]
- h.) popis všech postupů použitých ke korigování zatížení zbytkového zvuku a jeho popis; [4]

- i.) výsledky odhadu odezvy společnosti na dlouhodobé rušení; [4]
- j.) popis povětrnostních podmínek během měření, zejména rychlost a směr větru, popis oblačnosti a srážek, pokud se vyskytovaly; [4]
- k.) nejistoty výsledku a metoda použita k vyčíslení těchto nejistot; [4]
- l.) pro výpočty prvotní vstupní data a činnosti přijaté k ověření správnosti vstupních dat; [4]

3.1.2 Korekce nastavení hodnotící hladiny

Pojem průmyslový hluk je nedostačující informace pro hodnocení vztahu dávka – odezva zvuku. Zkušenosti některých zemí naznačují, že hluk vytvářený průmyslovou výrobou je rušivější nežli automobilová doprava. A to i dokonce bez obsahu slyšitelných tónů a impulzů. I přesto má mnoho zvuku pocházejících z průmyslové výroby tonální povahu (ventilátory a čerpadla), nebo impulsivní povahu, a tyto zvuky jsou velmi vhodné pro nastavení korekcí vzhledem k jejich jedinečnému charakteru. [4]

Rozdíly v rušení hlukem se liší podle zdroje, jež vydává zvuk, charakteru zvuku, denní doby atd., korekce se přičítají k změřeným, vypočítaným nebo předpokládaným hladinám akustického tlaku. [4]

Pokud jsou zvuky způsobované impulzními zdroji velmi nízké, až do té míry, že jsou nerozlišitelné od ostatních zvuků dalších zdrojů, bude korekce 5 dB, pokud impulsní události dosáhnou nebo přesáhnou stanovené limity. [4]

Typ	Specifikace	Korekce hladiny [dB]
Zdroje zvuku	Silniční doprava	0
	Letadla	3 až 6
	Železnice ^a	-3 až 6
	Průmysl	0
Charakter zdroje	Impulsní ^b	5
	Vysoce impulsní	12
	Vysoce energeticky impulsní	-
	Význačné tony ^c	3 až 6
Časová perioda	Večerní doba	5
	Noční doba	10
	Denní doba o víkendu ^d	5
<p>a.) Korekci pro železnici nelze použít pro dlouhé vlaky tažené diesellovou lokomotivou nebo vlaky překračující rychlost 250 km/h.</p> <p>b.) Některé země používají objektivní testy významnosti k zhodnocení impulzivnosti zdroje.</p> <p>c.) Pokud je obsah význačných tonu sporný, pak ISO 1996-2 poskytuje měřicí postup, který se použije k ověření jejich přítomnosti.</p> <p>d.) Korekce na denní dobu o víkendu se připočítá k L_d, jak je stanovena odpovědnými orgány.</p>		

Tabulka 3: Typické korekce hladin založené na kategoriích zdrojů zvuku a určité době dne

3.2 Norma ČSN EN ISO 11202 Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními

Norma ČSN EN ISO 11202 nám stanovuje metodu určování hladin emisního akustického tlaku strojů nebo zařízení na stanovišti obsluhy a dalších místech. Obsazené stanoviště zodpovědnou osobou se může nacházet v otevřeném prostoru nebo v místnosti, ve které se nachází zdroj zvuku. Do těchto prostor je také zařazena kabina pevně spojená se zdrojem hluku. Další stanovená místa smí být v blízkosti stanoviště obsluhy, nebo také v blízkosti strojů a zařízení u nichž není zapotřebí obsluhy. Tato místa můžeme nazývat tzv.: „místa dalších přítomných osob“. [5]

Pro odstranění vlivu jiných odrazivých ploch a povrchů, než na kterých je zkoušený zdroj umístěn se používá metod korekcí na lokální prostředí použité na změřené hladiny akustického tlaku. Tato korekce je založena na ploše se stejným účinkem pohlcování v místnosti, ve které probíhá zkouška. [5]

Pomocí popisu metod uvedené v této normě se získají výsledky v přesnosti 2 (technická třída) nebo v přesnosti 3 (provozní třída). Korekce prováděné v tomto prostředí jsou korekce na hluk pozadí a na akustické prostředí. Tato norma dále uvádí pokyny pro umístění a provoz zkoušeného zdroje, také udává polohu měřicích mikrofónů na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech. Účelem měření je možnost porovnat činnost strojů v daném prostředí za normalizovaných podmínek a provozních podmínek. [5]

3.2.1 Vhodná místa pro měření podle Normy ČSN ISO EN 11202

- a.) Stanoviště obsluhy, toto místo se většinou nachází v blízkosti zdroje zvuku, proto je nejvhodnější pro jeho měření, např.: průmyslové stroje, domácí spotřebiče. [5]
- b.) Stanoviště obsluhy uvnitř kabiny, tato kabina musí být součástí zkoušeného zdroje to znamená, že je s ním pevně spojena, jako například u mnoha průmyslových dopravních zařízení a zemních strojů. [5]
- c.) Stanoviště obsluhy uvnitř částečného nebo úplného krytu, tento kryt je nutné, aby dodal výrobce a byl součástí měřeného zdroje. [5]
- d.) Stanoviště obsluhy, jež je částečně nebo úplně kryté zdrojem zvuku, tato možnost se může objevit u některých velkých průmyslových strojů. [5]
- e.) Měřicí zařízení dále umístíme na místa obsazená osobami, jež nemají přímou odpovědnost za provoz zkoušeného zdroje, ale kteří se nacházejí v bezprostřední blízkosti občas, anebo trvale. [5]
- f.) A také na další místa, jež nemusí být nezbytně místem obsluhy nebo dalších přítomných osob. [5]

Měření hladin emisního akustického tlaku je nutno měřit na stanovištích obsluhy měřeného stroje po obvyklou pracovní periodu. Při tomto měření je nutno použít korekci na hluk pozadí i na lokální prostředí. [5]

Pro snížení nejistoty určení hladiny akustického tlaku na stanovišti je u některých přístrojů nezbytné několikrát měření opakovat. [5]

3.3 Norma ČSN EN ISO 3746 Určování hladin akustického výkonu

Norma stanovuje určování hladin akustického tlaku a hladin akustické energie zdroje hluku z hladin akustického tlaku měřených na ploše obklopující zdroj hluku ve zkušebním prostředí. Pomocí těchto měření se vypočítá hladina akustického výkonu A produkovaná zdrojem zvuku. [6]

3.3.1 Zkušební prostředí a jeho kritéria

Vhodná zkušební prostředí pro měření v souladu s normou jsou místnosti nebo rovná venkovní plocha. U venkovních ploch je důležité, aby byly přiměřeně izolovány od hluku pozadí. Je potřeba aby byly omezeny podmínky, které mají nepříznivý vliv na mikrofony použité pro měření (např. silné elektrické či magnetické pole, vítr, vysoké či nízké teploty atd.). [6]

Hladiny akustického tlaku A hluku pozadí průměrovaného přes polohy nebo drahý mikrofonu musí splňovat podmínku, že je o 3 dB nižší než hladina střední hodnoty akustického tlaku měřeného zdroje za provozu. Měření musí probíhat za přítomnosti tohoto hluku v pozadí. [6]

3.3.2 Referenční obalová plocha a měřicí plocha

U výběru měřicí plochy je nejprve nutné vymezit referenční obalovou plochu, tato plocha nám usnadní výběr rozměru a tvaru měřicí plochy jako takové. Referenční plocha je určena hypotetickým, nejmenším kvádrem, jenž uzavírá zkoušený zdroj hluku. U určování této plochy je možno zanedbat vyčnívající části o nichž víme, že nevyzařují významnou část zvuku. [6]

Polohy nebo dráhy mikrofonu, ve kterých se měří hladiny akustického tlaku, leží na hypotetické ploše o obsahu S . Tato plocha leží okolo referenční plochy, kterou jsme si nejprve určili a je ohraničena odrazivou rovinou. Měřicí plocha musí mít tvar polokoule, poloviny polokoule, čtvrtiny polokoule, kvádrů se stěnami rovnoběžnými s referenční obalovou plochou. [6]

4. Metodika stanovení hlukové zátěže

4.1. Stanovení hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku

Zkoušku měření akustického tlaku udává norma ČSN EN ISO 11 202: Akustika – Hluk vyzařování stroji a zařízeními – Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech s použitím přibližných korekcí na prostředí. Tato zkouška navazuje na normu ČSN EN ISO 3746: Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Provozní metoda s měřicí obalovou plochou nad odrazivou rovinou. [5] [6]

Postup měření a jeho nejistota je taktéž dána normou ČSN EN ISO 11 202. Dále je třeba stanovit referenční body, v kterých bude měření probíhat. Měření probíhá za chodu i při odstaveném stroji, a to nejméně ve třech sériích v každém referenčním bodě. Z naměřených hodnot se stanoví na základě energetického průměrování výsledná hodnota akustického tlaku L'_{pA} . Tato hodnota je ovšem bez zohlednění korekcí. [5] [6]

4.2 Zkušební prostředí

Zkušební prostředí je definováno normou ČSN EN ISO 11 202 a je charakterizováno třemi parametry, jejichž velikost je vyjádřena příslušnou korekcí. [5]

4.2.1 Kritérium pro hluk v pozadí (K_{1A})

Hluk pozadí pro hladinu akustického tlaku A, průměrovaného přes polohy mikrofonu v referenčních bodech musí být pro třídu přesnosti 3 (provozní třída) alespoň o 3 dB nižší než hladina akustického tlaku L'_{pA} zkoušeného zdroje hluku za chodu zařízení, měřeného za přítomnosti tohoto hluku v pozadí. [5]

Předpokládáme že $K_{1A} = 0$ je-li $\Delta L > 15$ dB, je-li tomu jinak tak přepočítáváme korekci pomocí vztahu: [5]

$$K_{1A} = -10 \lg(1 - 10^{-0,1\Delta L}) [dB] \quad (9)$$

A zároveň pro třídu přesnosti 2 (technická třída) musí být $\Delta L > 6$ dB. Je-li $\Delta L < 3$ dB stává se měření podle normy ČSN EN ISO 11 202 neplatným a je třeba snížit přesnost výsledku a měření je posléze označováno pouze jako informativní. [5]

4.2.2 Kritérium způsobilosti zkušebního prostředí (K_{2A})

Dle normy ČSN EN ISO 11 202 nesmí korekce prostředí K_{2A} , stanovená dle normy ČSN EN ISO 3746, překročit hodnotu 7 dB. Vztah pro stanovení tohoto kritéria: [5] [6]

$$K_{2A} = 10\lg(1 + 4\frac{S}{A})[dB] \quad (10)$$

Kde: S je plocha měřeného povrchu [m^2]

A je hodnota charakterizující prostředí (zvukovou pohltivost)

4.2.3 Korekce na lokální prostředí (K_{3A})

Hraniční hodnota korekce, jež udává norma ČSN EN ISO 11 202, určující třídu přesnosti měření, je rovna hodnotě 4 dB. Vztah pro stanovení korekce je: [5]

$$K_{3A} = 10\lg(1 + 4\frac{S}{A}) [dB] \quad (11)$$

Kde: $S = \pi d^2$

d je obvyklá vzdálenost pohybu obsluhy od měřeného zařízení

A je hodnota charakterizující prostředí (zvukovou pohltivost)

5. Měření hluku napájecího čerpadla v provozních podmínkách

Zdrojem dat, zpracovávaných v této kapitole, jsou hodnoty naměřené při garančních zkouškách napájecích čerpadel pracovníky VŠB.

5.1 Teplota, tlak, vlhkost

Naměřené hodnoty teploty vzduchu v provozním zkušebním prostředí, barometrického tlaku v místě měření a relativní vlhkost vzduchu v místě měření – tyto hodnoty byly stanoveny nezávislými měřicími přístroji dodavatelem měření. Jsou uvedeny v tabulce č.5. [9]

5.2 Hladina akustického tlaku A

Měření hladiny akustického tlaku se provádí pomocí měřicí techniky firmy „Brüel & Kjaer“ (Dánsko). Před započítím měření je nutné provést kontrolu kalibrace zvukoměru a v případě potřeby jej seřadit na kalibrační signál 94 dB. Po ukončení každé série měření se provádí kontrola nastavení. [9]

Použité přístroje Brüel & Kjaer:

- zvukoměr typ 2250, výr.č. 3003200, ověřovací list č.6035-OL-Z0087-15, vystaven dne 30.9.2015, platnost do 29.9.2017,
- měřicí mikrofón typ 4950, výr.č. 2879941, ověřovací list č.6035-OL-M0053-15, vystaven dne 24.9.2015, platnost do 23.9.2017,
- akustický kalibrátor typ 4231, výr.č. 3006984, kalibrační list č.6035-KL-K0029-15, vystaven dne 23.9.2015.

Ověření a kalibraci provedl ČMI v Brně, originály ověřovacích a kalibračních listů jsou uloženy v archivu dodavatele měření – VŠB TUO. Měřicí systém odpovídá IEC 651 a IEC 804. [9]



Obrázek 8: Zvukoměr Brüel & Kjaer typ 2250 [7]

Jedná se o ruční analyzátor zvuku, který je vhodný pro hodnocení hluku vnějšího prostředí, pracoviště, nebo pro vykonávání kontroly v průmyslu. Tento zvukoměr se skládá z mikrofону, předzesilovače, hlavního procesoru a čtecí jednotky. Analyzátor neslouží jen jako měřič zvuku, ale pomocí jeho modulu je možno provádět frekvenční analýzu a časový záznam zvuku. [8]

Vybrané technické specifikace zvukoměru Brüel a Kjaer typ 2250:

- V přístroji se nachází pro hlavní měření Předpolarizovaný $\frac{1}{2}$ " mikrofón pro volné pole, nominální citlivost toto mikrofónu je $-26 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}$. [8]
- Vlastní šum přístroje je kombinace teplotního šumu a elektrického šumu [8]

Vážení	Elektrický šum	Teplotní šum	Kombinovaný šum
"A"	12,3 dB	14,6 dB	16,7 dB
"C"	13,1 dB	13,5 dB	16,3 dB
"Z" 5Hz – 20 kHz	18,1 dB	15,3 dB	19,9 dB
"Z" 3Hz – 20 kHz	25,5 dB	15,3 dB	25,9 dB

Tabulka 4: Šum zvukoměru [8]

- Jsme schopní měřit v dynamickém rozsahu od šumové hladiny po maximální efektivní hodnotu $> 135 \text{ dB}$. [8]
- Přístroj je opatřen Lion-Ion baterií tato baterie je schopná při teplotě 20°C dodávat energii přístroji 8 – 12 hodin [8]
- Mezi analyzátor hluku a vstupní člen můžeme připojit až 100 m kabel. [8]

5.3 Výsledky měření

Hodnota hladiny akustického tlaku A měřeného zařízení je uvedena v tabulce č.4. Tato hodnota zahrnuje všechny patřičné korekce a je rozšířená o nejistotu měření tak, jak uvádí norma ČSN EN ISO 11 202. Vztah pro výpočet výsledné hladiny akustického tlaku:

$$L_{pA} = L'_{pA} - K_{1A} - K_{3A} - U[\text{dB}] \quad (12)$$

Kde:

L'_{pA} : průměrná naměřená hodnota akustického tlaku [dB]

K_{1A} : korekce hluku na pozadí [dB]

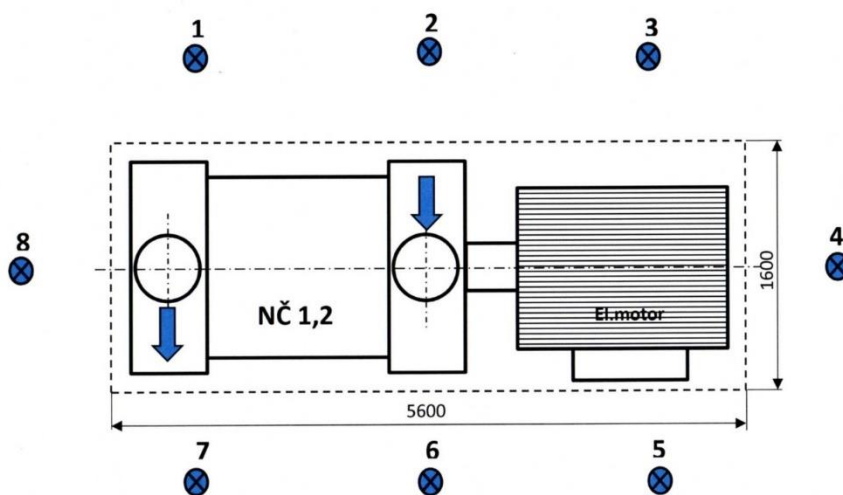
K_{3A} : korekce na lokální prostředí místa [dB]

U : rozšířená nejistota měření [dB]

Nejistota měření byla stanovena podle celkové směrodatné odchylky i rozšířená hodnota nejistoty měření činitelem $k=1,6$, tuto hodnotu nám stanovuje norma ČSN EN ISO 11 202. [9]

5.4 Měřicí místa

Měřicí místa se volí ve výšce 1,6 m nad odrazivou plochou (podlaha) o 1m od obrysu záření. Je nutné, aby byla vzdálenost mezi měřícími body $\leq 2\text{m}$. Pomocí této vzdálenosti se určí referenční měřicí body pro stanovení akustického tlaku v okolí (8 bodů). Schéma rozmístění referenčních bodů je znázorněno na obrázku č.10. [9]



Obrázek 9: Rozmístění referenčních bodů kole zdroje hluku [9]

5.5 Výsledky měření napájecího čerpadla

Hodnota hladiny akustického tlaku v jednotlivých referenčních bodech v okolí napájecího čerpadla, i se zahrnutou nejistotou měření je uvedena v následující tabulce. V tabulce se dále nacházejí hodnoty třídy přesnosti a splnění podmínek podle normy, dále v ní můžeme nalézt zhodnocení a dodržení hlukových garancí. [9]

Zařízení	Garant. Hodnota [dB]	Podmínky měření		Výsledná hodnota L_{pA} [dB]	Splnění garancí
		Dle ČSN EN ISO 11 202	Třída přesnosti		
EN 1	85	ano	2	81,60	ANO

Tabulka 5: Výsledných hodnot akustického tlaku napájecího čerpadla EN1[9]

5.6 Dílčí výsledky měření v referenčních bodech

Pomocí těchto dílčích naměřených hodnot v referenčních bodech a posléze jejich zprůměrování získáme výslednou hodnotu akustického tlaku a třídu přesnosti. Díky tomu jsme schopni určit, zda stroj splňuje garantované podmínky pro hluk.

V následujících tabulkách jsou shrnuty všechny naměřené a vypočtené hodnoty na základě nichž byla stanovena výsledná hladina akustického tlaku uvedená v tabulce 5

Hodnoty zkušebního prostředí napájecího čerpadla EN1		
Teplota okolí t_0 [°C]	Barometrický tlak p_b [Pa]	Relativní vlhkost vzduchu φ [%]
32	99110	34

Tabulka 6: Hodnot zkušebního prostředí [9]

Obalová plocha napájecího čerpadla EN1					
l_1 [m]	l_1 [m]	l_1 [m]	d [m]	S [m ²]	
1,6	5,6	2,4	1	52,48	
Doba měření v referenčních bodech kolem čerpadla EN1					
	Počet měřicích bodů		Měřicí interval [s]	Celková doba měř. v 1 bodě [s]	Celková doba měření [s]
Provoz	8		20	60	480
Pozadí	8		20	60	480
Ekvivalentní plocha místnosti					
a [m]	b [m]	c [m]	S_v [m ²]	α [-]	A [m ²]
10,5	78	8	3054	0,25	736,5
ČSN ISO 3746 – příloha A					

Tabulka 7: Doba měření a rozměry čerpadla EN1 [9]

Naměřená data v referenčních bodech (dB)									
Pozadí	dB	Bod 1	Bod 2	Bod 3	Bod 4	Bod 5	Bod 6	Bod 7	Bod 8
	Série A	84,83	81,74	82,51	83,29	83,29	80,13	79,48	81,88
	Série B	84,65	81,79	82,80	82,08	79,67	80,71	80,78	82,27
	Série C	87,72	82,55	84,30	81,30	80,99	79,76	78,59	81,62
Provoz	Série A	87,94	84,69	86,76	82,85	85,04	86,12	82,95	82,79
	Série B	88,91	85,03	87,08	82,81	86,64	85,04	85,52	86,48
	Série C	85,86	86,60	86,63	83,24	85,56	85,73	88,80	84,63

Tabulka 8: Naměřená data v referenčních bodech [9]

5.6.1 Vzorový výpočet hladiny emisního akustického tlaku

Průměr naměřených hodnot akustických tlaků v referenčních bodech 1-8 při odstaveném čerpadle (pozadí) a při jeho provozu (provoz):

Př. Pro bod 1:

$$\bar{\phi}_{\text{Pozadí}_{\text{Bod1}}} = \frac{84,83 + 84,65 + 87,72}{3} = 85,73 \text{ dB}$$

Celková průměrná hodnota akustického tlaku pozadí:

$$\begin{aligned}\varnothing\text{Pozadí} &= \frac{85,73 + 82,36 + 83,20 + 81,42 + 81,32 + 80,20 + 79,62 + 81,92}{8} \\ &= 81,97 \text{ dB}\end{aligned}$$

Celková průměrná hodnota akustického tlaku čerpadla při provozu:

$$\begin{aligned}L'_{pA}(\varnothing\text{Provoz}) &= \frac{87,57 + 85,44 + 86,83 + 82,97 + 85,75 + 85,63 + 85,76 + 84,63}{8} \\ &= 85,57 \text{ dB}\end{aligned}$$

Určení rozdílů hladin, třídy přesnosti (podle normy ČSN EN ISO 11202) a korekcí K_{1A} , K_{2A} , K_{3A} :

$$\Delta L = L'_{pA} - \varnothing\text{Pozadí} = 85,57 - 81,97 = 3,60 \text{ dB} > 3\text{dB (třída přesnosti 2)}$$

$$K_{1A} = -10 \lg(1 - 10^{-0,1\Delta L}) = -10 \lg(1 - 10^{-0,1 \cdot 3,60}) = 1,30 \text{ dB}$$

$$K_{2A} = 10 \lg\left(1 + 4 \frac{S}{A}\right) = 10 \lg\left(1 + 4 \cdot \frac{52,48}{763,5}\right) = 1,05 \text{ dB}$$

$$K_{3A} = 10 \lg\left(1 + 4 \frac{S}{A}\right) = 10 \lg\left(1 + 4 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{763,5}\right) = 0,14 \text{ dB}$$

Korigovaná hladina emisního akustického tlaku při provozu čerpadla:

$$L_{pA} = L'_{pA} - K_{1A} - K_{3A} = 85,57 - 1,30 - 0,14 = 84,13 \text{ dB}$$

Nejistota měření:

$$u(L_p) = \sqrt{\sigma_{RO}^2 + \sigma_{omc}^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,5^2} = 1,58 \text{ dB}$$

Směrodatná odchylka σ_{omc} je určena za pomoci norem ČSN ISO EN 11202 kap. 12.2.

Směrodatná odchylka σ_{RO} je určena za pomoci norem ČSN ISO EN 11202 kap. 12.4. a určuje ji třída přesnosti. [5]

Rozšířená nejistota měření:

$$U = k \cdot u(L_p) = 1,6 \cdot 1,58 = 2,53 \text{ dB}$$

$k=1,6$ je činitel rozšíření pro konfidenční úroveň 95%

Výsledná hladina akustického tlaku při provozu čerpadla:

$$L_{pA} = L'_{pA} - K_{1A} - K_{3A} - U = 85,57 - 1,30 - 0,14 - 2,53 = 81,60 \text{ dB}$$

Vypočtená data									
Pozadí	dB	85,73	82,36	83,20	81,42	81,32	80,20	79,62	81,92
Provoz	dB	87,57	85,44	86,83	82,97	85,75	85,63	85,76	84,63
ØPozadí	dB	81,97							
ØProvoz = L´ _{pA}	dB	85,57							
Rozdíl hladin ΔL	dB	3,60 (třída přesnosti 2)							
Korekce K _{1A}	dB	1,30							
Korekce K _{2A}	dB	1,05							
Korekce K _{3A}	dB	0,14							
Hladina emisního akustického tlaku									
Hladina emisního akustického tlaku A					L _{pA}	84,13	dB		
Směrodatná odchylka					σ _{omc}	0,5	dB		
					σ _{RO}	1,5	dB		
					k	1,6	dB		
Činitel rozšíření									
Nejistota měření					u(L _p)	1,58	dB		
Rozšířena nejistota měření (ČSN EN ISO 11202)					U	2,53	dB		
Výsledná hladina emisního akustického tlaku A						81,60	dB		

Tabulka 9: Výpočet hladiny akustického tlaku A [9]

Závěr

Cílem této práce bylo určení a posouzení hlučnosti vybraného energetického stroje. V úvodní část jsme se seznámili se zvukem jako takovým a jeho vlivem na životní prostředí. V další části byly popsány základy měření hluku energetických zařízení, byla zde rovněž popsána použitá měřicí technika. Dílčím cílem této práce bylo seznámení se s normami a literaturou, která má souvislost s tímto tématem. V práci jsem se proto dále zabýval metodikou měření hluku stanovenou v souladu s platnými normami v dané oblasti. To vše jsem využil v praktickém příkladu vyhodnocení úrovně hlučnosti napájecího čerpadla na základě výsledku diagnostického měření.

Pomocí metody popsané v této práci bylo provedeno měření hlučnosti napájecího čerpadla, a dále za využití mezinárodních norem pro akustiku byla vyhodnocena výsledná hodnota emisního akustického tlaku. Díky tomu bylo zjištěno, že hodnoty akustického tlaku garantované výrobcem nejsou překročeny a stroj tedy splňuje všechny požadavky co se týče emisní hlučnosti.

Seznam použitých zdrojů

- [1] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. 3. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2009, 400 s. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [2] SMETANA, Ctírad, et al. *Hluk a vibrace: Měření a hodnocení*. 1. vydání. Praha 1 : Sdělovací technika, 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5.
- [3] RAJNIAK, Ivan, et al. *Tepelno-energeticka a emisná merania*. 1. vydání. Bratislava. Vydavateľstvo Ister Science, 1997, 482 s. ISBN 80-88683-20-3.
- [4] ČSN ISO1996-1 Název: Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 1: Základní veličiny a postup pro hodnocení. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] ČSN EN ISO 11202 Název: Akustika – Hluk vyzařování stroji a zařízeními – Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech s použitím přibližných korekci na prostředí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2010.
- [6] ČSN EN ISO 3746 Název: Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Provozní metoda s měřicí obalovou plochou na odrazivou rovinu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2011.
- [7] Zvukoměr Brüel & Kjaer typ 2250 [Online] [Citace 2017-05-13], Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/products/sound-and-vibration-meters/sound-level-meters-and-vibration-meters/Type-2250-S>
- [8] Údajový list 2250 [Online] [Citace 2017-05-13], Dostupné z: http://www.bruel.sk/File/files/bks/UL_2250.pdf
- [9] VÝTISK, Tomáš *Napájecí čerpadla TAMEH Czech s.r.o.* Zpráva z garančního měření. Ostrav: Vysoká škola Báňská, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2016
- [10] Zdravotní účinky hluku, SZÚ. SZÚ [online]. 2007 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>